

# UNDERGROUND BURIED OBJECT SEARCHER

Publication number: JP4286983 (A)

Publication date: 1992-10-12

Inventor(s): KANDA HIROSHI; AKUTSU SEISHI; KOMATSU KOJI; YOSHINAGA TAKASHI +

Applicant(s): NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE +

Classification:

- International: G01S13/88; G01S13/00; (IPC1-7): G01S13/88

- European:

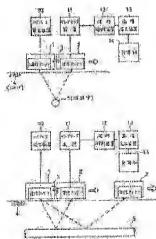
Application number: JP19910074314 19910315

Priority number(s): JP19910074314 19910315

Abstract of JP 4286983 (A)

**PURPOSE:** To identify the existence of a buried pipe and specify its laying direction even in the case where a reflected wave group does not have hyperbola-like continuity by converting a reflected signal from the buried pipe into a frequency area to calculate a spectral distribution.

**CONSTITUTION:** An electromagnetic wave is transmitted into the underground 4 from a transmission antenna part 1 and the reflected wave from a buried pipe 5 and the like are received by a receiving antenna part 2. A received observation signal is sampled 11, the sampled signal is converted into a frequency area in a waveform analyzer 12, a spectral distribution is calculated, and a reflected image of the buried pipe 5 is identified on the basis of a spectrum peak frequency, a direct current component ratio and half -value width. Next, the antenna part 2 alone is moved along its laying direction right above the identified pipe 5, the reflected wave is sampled 11 at specified intervals, and the reflected signals alone from the pipe 5 are extracted by the device 12. Next, the change of a propagation delay time of the reflected wave from the pipe 5 corresponding to the movement distance of the antenna part 2 is examined in a calculation part 14, the dielectric constant of the underground 4 is found and buried depth is calculated on the basis thereof.



Data supplied from the [espacenet](http://www.espacenet.com) database — Worldwide

特開平4-286983

(43) 公開日 平成4年(1992)10月12日

(51) IntCl<sup>5</sup>  
G 0 1 S 13/88識別記号 序内整理番号  
G 6959-5J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全13頁)

(21) 出願番号 特願平3-74314

(22) 出願日 平成3年(1991)3月15日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 神田 博

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 阿久津 晴司

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小松 幸二

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 山川 政樹

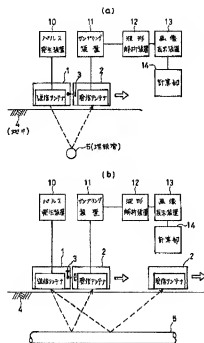
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地中埋設物探索装置

(57) 【要約】

【目的】 地中埋設物の埋設深度を精度良く探索可能な探索装置を提供する。

【構成】 埋設管5からの反射信号は周波数領域に変換されそのスペクトル分布が算出される。そして、このスペクトルピーク周波数、直流成分および半値幅に基づき埋設管反射像が認識される。この認識された埋設管5の地表面における直上をその敷設方向に沿って受信アンテナ部2を移動させ、この移動距離に対応する埋設管5からの反射波の伝搬時間の変化から埋設媒質の比誘電率が求められ、この比誘電率に基づいて埋設管5の埋設深度が算出される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信アンテナを配した送信アンテナ部と、受信アンテナを配した受信アンテナ部と、送信アンテナにパルス信号を送信するパルス発生装置と、受信アンテナで受信した反射信号をサンプリングするサンプリング装置と、反射信号を周波数領域に変換してスペクトル分布を算出しスペクトルピーク周波数、直流成分比および半値幅に基づいて埋設管からの反射信号を認識する波形解析装置と、地表面上において、認識された埋設管の直上をその敷設方向に前記受信アンテナ部のみを徐々に移動させ受信アンテナの移動距離に対応した埋設管からの反射波の伝搬時間の変化から埋設管の比誘電率を求め、この比誘電率に基づいて埋設深度を算出する計算部と、画像表示装置とを備えたことを特徴とする地中埋設物探索装置。

## 【発明の詳細な説明】

$$D^* \approx (L^2 + D^2)^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$t = 2D^* / V \dots \dots \dots (2)$$

$$V = C / \epsilon_r^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

式(1)、式(2)、式(3)から

$$t = 2 [(L^2 + D^2) \cdot \epsilon_r]^{1/2} / C \dots \dots \dots (4)$$

【0003】となり、図10(b)に示すとおり、送・受信アンテナ部6の移動距離Lとは双曲線状の相関を有する。ここで、Dは埋設管の埋設深度、Vは埋設媒質中、即ち土中4における電磁波伝搬速度、Cは光速、 $\epsilon_r$ は同誘電率である。また、受信された反射波は、演算装置15を介し地中断面画像として表示装置13に表示し、上記した埋設管反射波群101は反射波振幅強度に基づく双曲線状の反射波102として捉えられる。

【0004】しかし、地中は、空気中等に比べ極めて不均一であるため、上記した埋設管反射波群101とともに種々の雑反射波群103が観測される。これら観測された種々の反射波群の中から埋設管等の存在を認識し、且つ認識した埋設管までの電磁波伝搬時間tを埋設深度Dに置き換えるための第1の例として特開平1-280275号公報に開示されている合成開口法がある。これは、観測された地中断面単位の反射波群に対して所定のステップで比誘電率を変化させて合成開口を行い、各々の比誘電率での反射波群の例えば振幅強度の集積度を求める。この時、双曲線状の相関を持つ観測される埋設管反射波群は、双曲線状の相関を持たない雑反射波群に比べその集積度が高く、真の比誘電率で合成開口が行われた時その集積度は最大となる。これらから埋設管の存在を認識し、埋設媒質中、即ち土中の比誘電率を推定して埋設深度を得るような方法である。しかし、図11(a)に示すように、実際の道路下では埋設管を敷設するための垂直掘削面a、a'が存在する。しかもこの垂直掘削面内側は、主に砂等の埋戻し材により構成されており、垂直掘削面は在来地盤rと電気特性、即ち比誘

## \*【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、地中に埋設された埋設管等を探索する地中埋設物探索装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】一般に、埋設管等の探索にあたっては、パルスレーダー法による地中レーダーシステムが用いられているが、これらは図10(a)に示すとおり、送信アンテナと受信アンテナとが配された送・受信アンテナ部6を地表面上において埋設管5の敷設方向に對し横断方向に移動させる。この時送信アンテナからは広がり(θ)を持って電磁波を送出しているため、その広がり(θ)内において埋設管5からの反射波を捉えることができる。従って送・受信アンテナ部6が移動地点毎に観測する埋設管5からの反射波群101の観測時間、すなわち電磁波伝搬時間tは、

電率が大きく異なっている場合が多い。従って、電磁波は比誘電率の変化面で反射を起こすことから、埋設管5に対して一般的に行われている横断探査では、図11(b)に示すように、送・受信アンテナ部6が埋設管の両側に存在する垂直掘削面内a-a'間を移動している時に埋設管反射波102に双曲線形状の連続性がない場合が多い。このように双曲線形状の連続性が短い場合、合成開口による埋設管反射波群の集積度は、雑反射波に比べて差異が無いかまたは小さいため、埋設管5の存在を認識できず、双曲線形状の連続性不十分である第1の例の合成開口法は適用できない。また、双曲線状に観測されても、中、大口徑管路や複条数からなる管路群等の場合、事前に管路係や形態を把握して合成開口を行う必要があり、これらが事前に把握できない場合は、精度の高い埋設深度を得ることができない。

【0005】従来技術の第2の例としては、第1の例のような埋設管からの反射波群の双曲線状の相関には依存せず埋設管の存在を認識する方法であって、特開昭62-268130号に記載されている周波数解析法である。これは、観測された各々の反射信号を所定の時間に分割し、分割された信号を周波数領域に変換してスペクトル分布を求め、このスペクトル分布からスペクトルピーク周波数、直流成分比および半値幅等のスペクトル分布にパラメータ値を算出する方法である。この方法によれば、埋設管からの反射波パラメータ値は、特定の範囲に集中するので、各々のパラメータ値が所定の範囲以外の値を有する反射信号を不要反射波として除去することにより、埋設管からの反射信号のみを抽出し、その存在

3

を認識できる。しかし、この方法では、埋設媒質中の比誘電率を知る有効な方法が無く、例えば測定箇所近傍で予め埋設深度の既知の基準管により比誘電率を補正するようにしている。また、第1の例の合成開口法及び第2の例の周波数解析法は、図10(a)に示すように、長手方向に連続する埋設管5に対して横断方向に送受信アンテナ部6を移動させて探査を行い、その反射波を捉える方法である。従って、1回目の横断探査で埋設管に存在を認識し、次に送受信アンテナ部6の移動ラインを長手方向に平行移動して再び探査を行って埋設管の存在を認識したとしても、それらが同一に埋設管であるか否かは確認できず、敷設方向は道路形態等から推定するにとどまっている。

$$t = (L^2 + 4D^2)^{1/2} / V \dots \dots \dots (5)$$

から

$$t = 2 [(L^2 + 4D^2) \cdot \varepsilon_s]^{1/2} / C \dots \dots \dots (6)$$

となり、図12(b)に示すとおり、受信アンテナ部2の移動距離 $L$ とは放物線状の相関を有する。このことから放物線状の相関を持つ反射波群201により形成される反射像202の曲線(放物線)は $L^2 - t^2$ の平面上では直線となり、この直線の傾きから電磁波の伝搬速度、即ち比誘電率が推定できるとしている。しかし、アスファルト等の表層部、碎石等からなる路盤部、また在来地盤からなる路床部等、多層構造の道路下では、一般に比誘電率は浅層部では小さく、深層部では大きくなる傾向がある。従って、ワイドアングル測定法で求まる比誘電率は、地表面と地層境界面7間の各層の平均値であり、精度の高い埋設深度を得るための地表面、埋設管間の比誘電率を求めたことにはならない。そこで、地層境界面7の代わり長手方向に連続性を持つ埋設管に対してワイドアングル法を用いれば、各々に正確な比誘電率を求めることができる。しかし、地中に埋設された埋設管の直上で受信アンテナ部2を移動させるためには、事前に埋設管の敷設方向を把握する必要がある、ワイドアングル法のみではこれを行うことができない。

【0007】  
 [発明が解決しようとする課題] 従来の第1の例に示される合成開口法は、埋設管を探索する場合、埋設管反射像に双曲線形状の連続性がないような場合には、埋設管の存在を認識できないという欠点があった。また、埋設管反射像が双曲線状に観測されても、事前に管路径や形態を把握して合成開口を行う必要があり、これらが事前に把握できない場合は、精度の高い埋設深度を得ることができないという欠点があった。また、第2の例に示される周波数解析法は、埋設管が敷設されている埋設媒質中の比誘電率を実際に求めることができなく、既知の基準管により比誘電率を補正しているため、正確な埋設深度を得ることができないという欠点があった。さらに、これら合成開口法及び周波数解析法は、共に、埋設管の

4

\*【0006】さらに、従来技術の第3の例としては、埋設媒質中の比誘電率推定方法として昭和57年10月の物理探査学会の論文集P59～P60の論文「電磁波反射法による地中埋設物探査」に、主として地層境界面を対象としたワイドアングル測定法が述べられている。この方法では、図12(a)に示すように、送信アンテナと受信アンテナとをそれぞれの面に面した送信アンテナ部1と受信アンテナ部2とにより、受信アンテナ部2のみを移動させ、主に平面的な広がりを持つ比誘電率の変化面、即ち地層境界面7からの反射波を観測する。この時、受信アンテナ部2が移動地点毎に観測する地層境界面7からの反射波の電磁波伝搬時間 $t$ は、

敷設方向を道路形態等から推定するにとどまっている。また、第3の例である埋設媒質中の比誘電率推定方法は、正確な比誘電率を求めることはできるが、比誘電率の算出のために埋設管の直上で受信アンテナ部を移動させる場合、事前に埋設管の敷設方向を把握しておかなければならないという欠点があった。従って本発明の目的は、地中レーダシステムにおいて、一般的に行われている横断探査で、埋設管からの反射波群が双曲線状の連続性を持たない場合でもその存在を認識し、敷設方向を特定するとともに、双曲線状の連続性とは無関係に、また、埋設管の管径、形態に左右されずに、地表面、埋設管間の電磁波伝搬媒質中、即ち土中の比誘電率を求め、正確な埋設深度を得ることにある。

【0008】  
 [課題を解決するための手段] 上述の目的を達成するため、本発明は、送信アンテナを配した送信アンテナ部と、受信アンテナを配した受信アンテナ部と、送信アンテナ部にパルス信号を送信するパルス発生装置と、受信アンテナで受信した反射信号をサンプリングするサンプリング装置と、反射信号を周波数領域に変換してスペクトル分布を算出しスペクトルピーク周波数、直流成分比および半値幅に基づいて埋設管からの反射信号を認識する波形解析装置と、地表面上において、認識された埋設管の直上をその敷設方向に受信アンテナ部のみを徐々に移動させ受信アンテナの移動距離に対応した埋設管からの反射波の伝搬時間の変化から埋設媒質の比誘電率を求め、この比誘電率に基づいて埋設深度を算出する計算部と、画像表示装置とを備えたものである。

【0009】  
 [作用] 埋設管からの反射信号は周波数領域に変換されそのスペクトル分布が算出される。そして、このスペクトルピーク周波数、直流成分比および半値幅に基づき埋設管反射像が認識される。この認識された埋設管の直上

5

をその敷設方向に沿って移動する受信アンテナ部の移動距離に対応する反射波の伝播時間の変化から埋設媒質の比誘電率が求められ、この比誘電率に基づいて埋設深度が算出される。

【0010】

【実施例】本発明のうち埋設管に存在の認識及び敷設方向を仮定する第1の手段としては、従来技術の第2の例である周波数解析法を用い、また敷設方向の特定および電磁波伝搬媒質中、即ち土中の比誘電率を求め、埋設深度を得るための第2の手段としては、従来技術の第3の例であるワイドアングル法を用い、第1の手段と第2の手段は各々別の装置を必要とせず、同一装置で容易にこれらを実施できるようにしたものであり、従来装置が第1の手段と第2の手段とを別々の装置で構成していたものとは異なる。また、埋設管に對し一般的に行われている横断探査で、埋設管からの反射波群の双曲線状に相関は依存せずこれを可能としたこと等を最も主要な特徴とし、従来技術の第1の例において不可欠であった埋設管からの反射波群の双曲線状の相関が不要となる。

【0011】以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。図1(a)、(b)は、本発明に係る地中埋設管探査装置の一実施例を示すブロック図であり、図1(a)は埋設管5の存在の認識及び敷設方向を仮定するための第1の手段、図1(b)は敷設方向の特定、及びその埋設管5と地表面間の埋設媒質、即ち土中の比誘電率を求め埋設深度を得るための第2の手段を示し、これらの第1、第2の手段は同一装置である。

【0012】まず、図1(a)に基づいて埋設管5の存在の認識及び敷設方向を仮定するための第1の手段の構成と動作について説明する。パルス発生装置10から出力される高出力のインパルス(モノパルス)信号が広帯域周波数特性を有する送信アンテナ部1に供給され、送信アンテナ部1でインパルス信号から電磁波に変換されて地中4へ送出されると、地中4に存在している埋設管5からの反射波やその他の雑反射波が広帯域周波数特性を有する受信アンテナ部2で観測信号、即ち反射信号として受信され、受信された観測信号はサンプリング装置11でサンプリングされる。次に、治具3により連結され、且つ埋設管6に対して直向に配置した送・受信アンテナ部1,2を埋設管6に対して横断方向に移動させ、所定の間隔でサンプリングを繰り返す。サンプリングされた観測信号は、波形解析装置12に供給され、目標物体である埋設管5からの反射信号のみを抽出し、埋設管5からの反射信号のみを表示装置13に表示する。これらの一連の動作により連結された送・受信アンテナ部\*

$$Rdc = Idc / Ip \dots \dots \dots (7)$$

以上の過程を観測信号の分割波形全てに対して行い、図1(b)の特性を利用して、 $f p 1 < f p < f p 2, W 1 < W < W 2, Rdc 1 < Rdc < Rdc 2$  以上の値を有する分割波形を不要反射波として除去す

6

\*1, 2の移動距離に対応した地中断面像が表示され、且つ埋設管5の反射信号のみが表示されるため容易にその存在を認識でき、地表面上における埋設管5の直上点が特定できる。

【0013】次に、図1(b)に示す敷設方向の特定、及び埋設深度を得るための第2の手段の動作を説明する。送・受信アンテナ部1,2を埋設管5の直上に、且つ敷設方向と平行に配置し、治具3により分離する。次に第1の手段に述べたと同様な作用、即ち送信アンテナ部1から送出した電磁波を地中4あるいは埋設管5からの反射波として受信アンテナ部2で受信し、サンプリング装置11でサンプリングする。次に、後述する方法で埋設管5の直上を受信アンテナ部2のみを移動させ、所定の間隔で反射波のサンプリングを繰り返す。サンプリングされた観測信号は波形解析装置12に供給され、埋設管5からの反射信号のみを抽出して表示装置13に表示する。次に計算部14において、受信アンテナ部2の移動距離に対応した埋設管5からの反射波の伝播時間の変化を調べ、地表面、埋設管間の埋設媒質、即ち土中の比誘電率を求め、これに基づいて埋設深度を計算する。

【0014】次に、波形解析装置12の作用について説明する。波形解析装置12では、まずサンプリング装置11でサンプリングされて供給された反射信号を所定の時間毎に分割する。すなわち、地中4からの反射信号は、埋設管5からの反射信号以外にも種々の雑反射信号が異なる時間位置で重畳しているものであるため、これらの種々の反射信号を個別に分割する。この分割方法には、一定の時間幅 $\Delta T$ で分割する一定時間分割法、ゼロ・クロス法により1周期相当の時間毎に分割するゼロ・クロス分割法等があるが、本実施例ではゼロ・クロス法により分割する例について説明する。

【0015】図2は、波形解析装置12に供給される反射信号21のゼロ・クロス法による波形分割の1例である。図2に示す矢印の区間がゼロ・クロス法による1周期相当の時間間隔であり、分割波形毎に波形N0が付けられている。ここでは波形N01を分割した例を図3の上部に示す。分割された波形21'は、波形解析装置12において高速フーリエ変換処理により周波数領域に変換され、スペクトル分布が求められる。すなわち、図3の下部に示すスペクトル分布から最大強度(ピーク)のスペクトルを抽出し、スペクトルピーク周波数 $f_p$ 、スペクトルピーク周波数 $f_p$ に対するスペクトル強度 $I_p$ 、直流成分強度 $I_{dc}$ 及び半値幅 $W$ を読み取る。また、直流成分強度 $I_{dc}$ とスペクトル強度 $I_p$ とから式により直流成分比 $Rdc$ を算出する。

4, 5の特性を利用して、

$$f p 1 < f p < f p 2, W 1 < W < W 2, Rdc 1 < Rdc < Rdc 2$$

50. Rdc.

7

8

【0016】ここで、図4、図5は、数々の実験により得られた観測信号から導かれた各種分割波形の  $f_p$ - $R_{dc}$ 、 $f_p$ - $W$ 分布を示したグラフである。同図におい\*

$$f_{p1} < f_{p2} < f_{p3}, W_1 < W_2, R_{dc1} < R_{dc2}$$

の範囲に集中して分布していることがわかる。 $f_{p1}$ 、 $f_{p2}$ 、 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $R_{dc1}$ 、 $R_{dc2}$ の値の1例を表1に示す。

※

$f_{p1}$	200MHz	$W_1$	200MHz	$R_{dc1}$	0
$f_{p2}$	300MHz	$W_2$	300MHz	$R_{dc2}$	1

\* 黒丸は埋設管5からの反射波の特性を示し、また、白丸は不要反射波の特性を示している。埋設管5からの反射波は、明らかに成る範囲、すなわち、

※【0017】

【表1】

【0018】なお、分割波形には、スペクトルピーク周波数  $f_p$ 、半値幅  $W$  及び直流成分比  $R_{dc}$  のフィルタリング条件の何れかを満たす波形も存在するが、表2に示されるように、観測信号内で3条件を同時に満たす分割波形は1つ（即ち、波形No.4）であり、この分割波形が埋設管5の反射波形と考えられ、この分割波形のみを★

★抽出する。ここで、表2は図2に示された分割波形毎に計算されたスペクトルピーク周波数  $f_p$ 、半値幅  $W$  及び直流成分比  $R_{dc}$  の値を示す。

【0019】

【表2】

波形No.	$f_p$ (MHz)	$W$ (MHz)	$R_{dc}$
1	400	200	0.2
2	70	100	0.8
3	170	200	0.02
4	250	250	0.01
5	150	—	0.25
6	70	120	0.95
7	130	250	0.01
8	290	450	0.02

【0020】以上述べた波形解析処理を図2の観測信号に施せば、図6に示すように、不要反射信号が取り除かれて埋設管5からの反射信号波形のみが得られる。また、図6は図7のA-A'に相当する波形であるため、これらの作用をアンテナ部の移動に伴い、所定の間隔でサンプリングされた観測信号全てに施せば、図7に示したとおり、横軸をアンテナ移動距離、縦軸を電磁波伝播時間の座標系に構成した地中断面図中にその反射波振幅強度に基づく埋設管の反射像のみが表示される。

【0021】図8に本実施例の斜視図を示す。図8

(a)は第1、第2の手段それぞれの送・受信アンテナ部1、2と埋設管5の関係を示す図、図8(b)はそれぞれの地中断面像301、302及び埋設管反射像102、202である。埋設管5の存在の認識及び敷設方向の仮定をするための第1の手段においては、治具3により送信アンテナ部1と受信アンテナ部2とを連結し、道路距離等から推測される埋設管敷設方向に対して横断方向、即ちA→C方向に送・受信アンテナ部1、2を移動させ、埋設管5からの反射信号を捉える。観測された種々の反射信号は、波形解析装置12により埋設管5からの反射信号のみが抽出され、図8(c)に示したよう

に、A→C方向への送・受信アンテナ部1、2の移動距離に対応した地中断面像301中に埋設管5の反射像102のみを表示する。この操作で容易に埋設管5の存在が認識でき、その直上点、すなわちB点が特定できる。次に、アンテナ走査ラインを変更し、A'→C'において再度上記操作を行いB'点を特定する。ここで特定した2点、すなわちB→B'が埋設管敷設方向となるが、この段階では特定した2点が同一の埋設管であるか否かは分からず、従って敷設方向は仮定となる。次に、敷設方向の特定及び埋設管深度を得るための第2の手段においては、送・受信アンテナ部1、2を治具3により分離し、受信アンテナ部2のみを埋設管5の敷設方向直上であると仮定したB→B'方向に移動させ、埋設管等からの反射信号を捉える。観測された種々の反射信号は、第1の手段と同様に波形解析装置12により埋設管5からの反射信号のみが抽出され、図8(b)に示したとおり、B→B'方向への受信アンテナ部2の移動距離に対応した地中断面像302の中から埋設管反射像202のみを表示する。

【0022】図9は、第2の手段を詳細に説明する図であり、図9(a)は送・受信アンテナ部1、2と埋設管

9

5との関係を示す図、図9(b)は受信アンテナ部2の移動に伴う埋設管反射像202及び比誘電率を推定するためのグラフ(理論放物線401等)である。第1の手段により仮定した2点、即ちB、B'点が同一の埋設管であれば、受信アンテナ部2は埋設管5の直上を移動し\*

$$t_0 = 2 \{ [(W/L)^2 + D^2] \cdot \epsilon_s \}^{1/2} / C \cdots \cdots (8)$$

$$t_1 = 2 \{ [(W+L)/2]^2 + D^2 \} \cdot \epsilon_s \}^{1/2} / C \cdots \cdots (9)$$

式(8)、(9)から

$$t_1 = \{ (L^2 + 2WL) \cdot \epsilon_s + t_0^2 \cdot C^2 \}^{1/2} / C \cdots \cdots (10)$$

となり、図9(b)に示したとおり、電磁波伝搬時間 $t_1$ と受信アンテナ部2の移動距離 $L$ とは放物線状の相関を持つ。すなわち、放物線状の相関に連続性があれば、 $B \rightarrow B'$ 点は同一の埋設管であることが確認でき、ここで埋設管5の敷設方向が特定できる。

【0023】次に、電磁波伝搬媒質中、即ち土中4の比誘電率を求め、埋設深度を得る段階において、図9(b)に示したとおり、放物線状に観測された埋設管反射波群201により形成される埋設管反射像202は、式(10)のとおり、比誘電率の違いにより電磁波伝搬時間402が変化し、その傾きが変化する。従ってこの傾きを評価すれば比誘電率が求まることになる。そこで、この傾きを評価し比誘電率を推定する方法の1例としては、上記したとおり、 $L - t^2$ 平面上での直線の傾きから比誘電率を推定する方法等の他に、これらの反射波群に対し合成開口を行う方法、反射波群の時間位置と受信アンテナ部2との移動距離からヒトグラフの定理により求める方法等が考えられるが、表示装置13に表示されたままの反射像202から最も簡単に推定する方法として、理論放物線の重ね合わせ法について以下説明する。

【0024】図9(b)に示したとおり、表示装置13に、測定により得られた放物線状の反射像202と、仮定した比誘電率で式(10)による理論放物線を表示させる。すなわち、 $L = 0$ の時の反射波群時間位置 $T_0 - p$ をカーソルキー等で座標指示することで電磁波伝搬時間 $t_0$ を読み取り、また予め設定した一般的な土中の比誘電率から式(10)により表示装置13に理論放物線401を表示させる。次に、式(10)中の比誘電率 $\epsilon_s$ を例えばカーソルキー等により小数点以下第1位を概ね0.5づつシフトさせて理論放物線401の傾きを変化させ反射像202と理論放物線を重ね合わせる。この場合、完全に重なり合った時の理論放物線402を形成させている比誘電率が真の比誘電率である。なお、この時比誘電率を変化させつつ同時に $D = C \cdot t_0 / (2 \cdot \epsilon_s)^{1/2}$ により埋設深度の表示も行う。これらの操作により放物線状に得た埋設管5からの反射像202で比誘電率が求まり、高精度の埋設深度データを得ることができる。これらは、 $A \rightarrow C$ 方向への横断探索で、図11に示したように、垂直断面a-a'の影響等から埋設管5の反射波群に双曲線状の連続性が無い場合でも、 $B \rightarrow B'$ 方向

10

\*であり、図9(a)に示すとおり、受信アンテナ部2が移動点毎に観測する埋設管5からの反射波の電磁波伝搬時間 $t_1$ は、送信アンテナ部1と受信アンテナ部2との間の初期距離を $W$ とすると、

ではアンテナ部は垂直断面a-a'を横断せず、同一の埋設深度(埋戻し材)中での動作であるため効率良く放物線状の反射像を観測でき、また、放物線形状は埋設管5の管径等に左右されないため、精度の高い比誘電率、即ち埋設深度を得ることができる。なお、この地中埋設管探索装置は、地中埋設物の探索のみならず、例えばコンクリート中の鉄筋等の不可視物体の探索にも応用できるものである。

#### 【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の装置を用いれば、埋設管に対し横断方向に探索した時の送・受信アンテナ部の移動距離と電磁波伝搬時間の双曲線状の相関とは全く無関係に埋設管の存在を認識できる。また、敷設方向の特定、及び埋設媒質中の比誘電率を求める段階においては、埋設管敷設方向に受信アンテナ部を移動させることから垂直断面a-a'の影響等が無く、また埋設管の管径に左右されないため、比誘電率を推定するに十分な放物線状の反射波群を得ることができ、精度の高い埋設深度を得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の地中埋設管探索装置の一実施例を示すブロック図である。

【図2】波形分析される観測信号の波形図である。

【図3】観測信号の分割波形成図およびそのスペクトル分布を示す図である。

【図4】分割波の直流通分比とスペクトルピーク周波数との関係を示すグラフである。

【図5】分割波の半値幅とスペクトルピーク周波数との関係を示すグラフである。

【図6】不要反射信号が除去された反射信号の波形図である。

【図7】反射信号波形に対応した埋設管の断面図である。

【図8】上記実施例装置の斜視図である。

【図9】上記実施例装置の探索方法を説明する説明図である。

【図10】従来の地中埋設物の探索方法を説明する説明図である。

【図11】従来の埋設物探索方法における問題点を説明する説明図である。

11

【図12】従来の地中埋設物の探査方法を説明する説明図である。

【符号の説明】

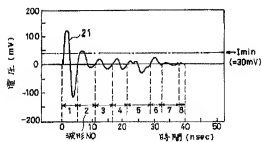
- 1 送信アンテナ部  
2 受信アンテナ部  
3 治具

12

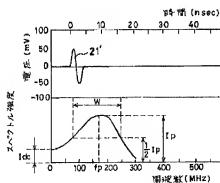
4 地中

- 10 パルス発生装置  
11 サンプルング装置  
12 波形解析装置  
13 画像表示装置  
14 計算部

【図2】

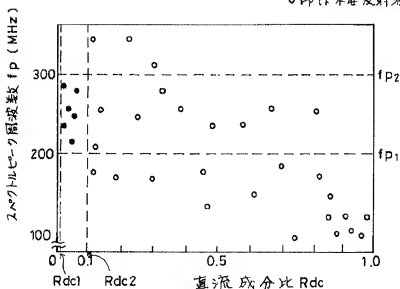


【図3】



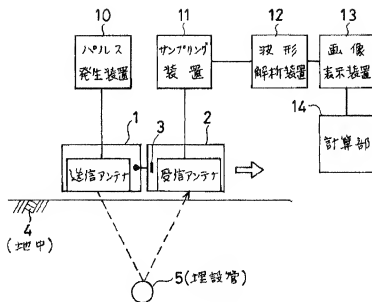
【図4】

- $f_p$ は管による反射波  
○  $f_p$ は不要反射波

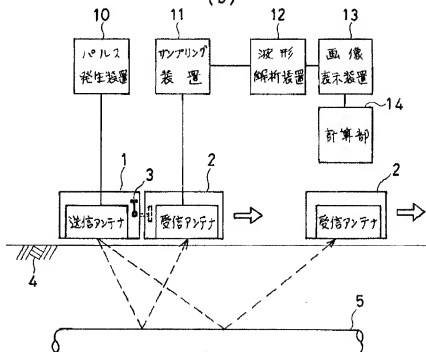


【図1】

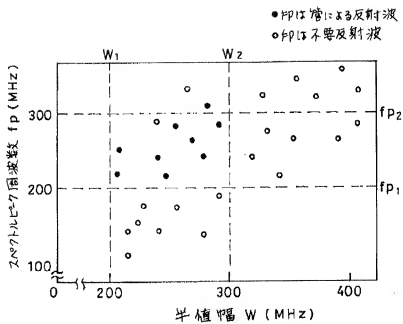
(a)



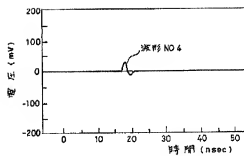
(b)



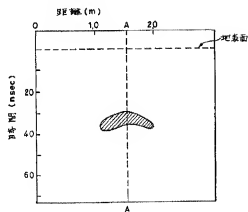
【図6】



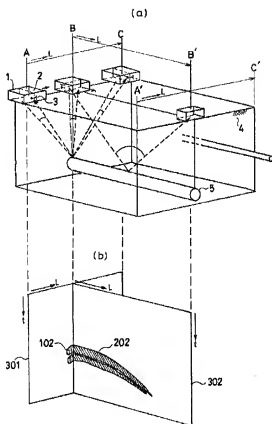
【図6】



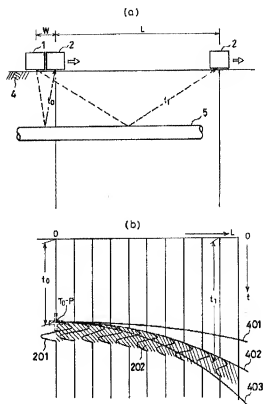
【図7】



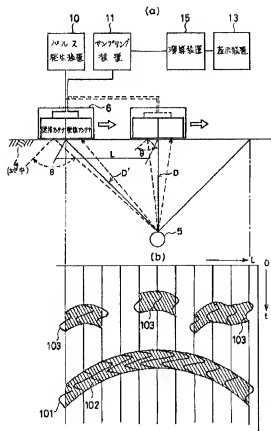
【図8】



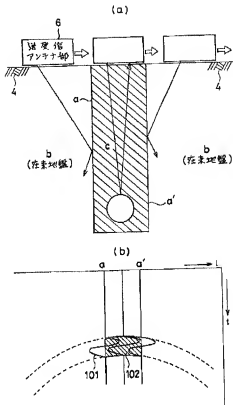
【図9】



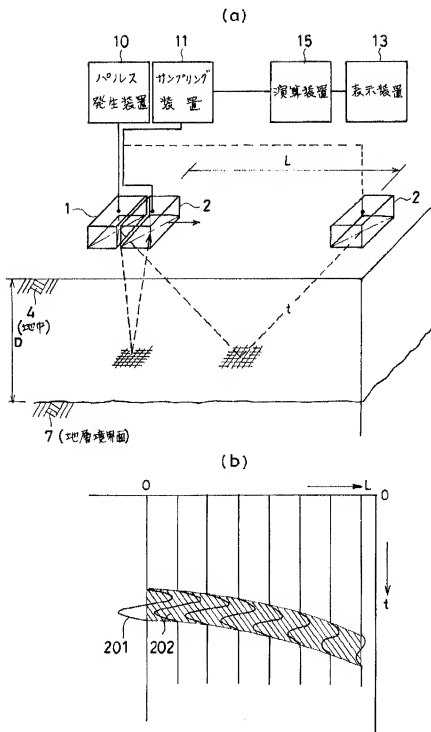
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 吉永 敬

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内